

VEHICLE STEERING SYSTEM FOR CONTROLLING A STEERING OR STEERING LOCK ANGLE OF AT LEAST ONE WHEEL OF A VEHICLE

Patent number: WO02076806
Publication date: 2002-10-03
Inventor: NIESSEN HARWIN (DE); HENRICHFREISE HERMANN (DE)
Applicant: MERCEDES BENZ LENKUNGEN GMBH (DE); NIESSEN HARWIN (DE); HENRICHFREISE HERMANN (DE)
Classification:
 - international: **B62D5/00; B62D6/00; B62D5/00; B62D6/00; (IPC1-7): B62D5/00; B62D6/00**
 - european: **B62D5/00; B62D6/00**
Application number: WO2002EP01855 20020221
Priority number(s): DE20011015018 20010327

Also published as:

EP1373051 (A1)
 US7036626 (B2)
 US2004084241 (A1)
 DE10115018 (A1)
 CN1492819 (A)

more >>

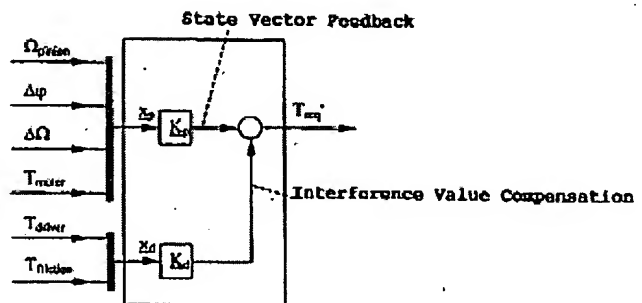
Cited documents:

DE19755044
 DE19626540
 EP1172280

Report a data error here

Abstract of WO02076806

The invention relates to a vehicle steering system for controlling a steering or steering lock angle of at least one wheel of a vehicle, comprising the following: a steering handle, especially a steering handwheel; a detecting device for detecting the degree of actuation of the steering handle; a mechanical interconnection between the steering handle and the at least one steered vehicle wheel; an adjustment unit for assisted adjustment of the steering or steering lock angle; a control device for the adjustment unit, wherein the actual manual torque or force that is to be exerted by the driver to control the vehicle is regulated by the control device depending on vehicle state parameters, wherein the control device has a vehicle state regulator which generates an adjustment parameter T_{req} with the aid of state parameters of the vehicle, in which the steering forces exerted by the driver would be minimal, so that practically torque-free steering could be realized and a reference variable lock-on produces a reference variable T_{ref} for the manual torque $T_{driver, req}$ to be exerted by the driver.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (U&PTO)



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 15 018 A 1**

⑤ Int. Cl.⁷:
B 62 D 6/00

⑰ Aktenzeichen: 101 15 018.0
⑳ Anmeldetag: 27. 3. 2001
㉓ Offenlegungstag: 28. 11. 2002

DE 101 15 018 A 1

⑦① Anmelder:
Mercedes-Benz Lenkungen GmbH, 40476
Düsseldorf, DE

⑦④ Vertreter:
LENZING GERBER Patentanwälte, 40470
Düsseldorf

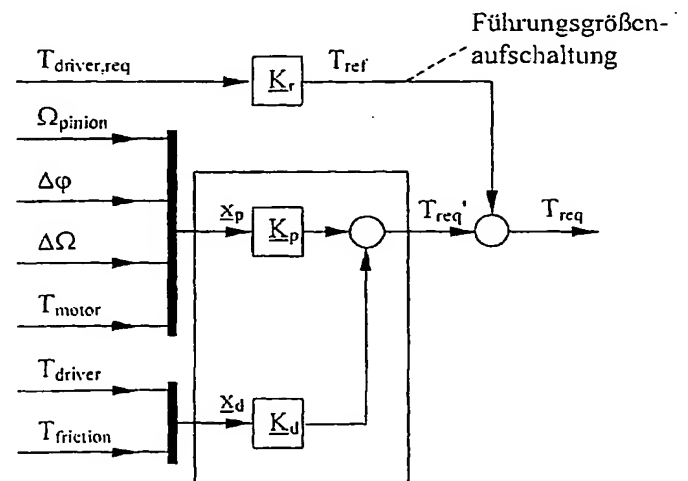
⑦② Erfinder:
Nießen, Harwin, 73230 Kirchheim, DE;
Henrichfreise, Hermann, Dr., 51429 Bergisch
Gladbach, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gem. Paragraph 43 Abs. 1 Satz PatG ist gestellt

⑤④ Fahrzeuglenkung zum Steuern eines Lenk- oder Einschlagwinkels mindestens eines Fahrzeugrads eines Fahrzeugs

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Fahrzeuglenkung zum Steuern eines Lenk- oder Einschlagwinkels mindestens eines Fahrzeugrads eines Fahrzeugs, das aufweist: eine Lenkhandhabe, insbesondere ein Lenkhandrad; eine Detektierungsvorrichtung zum Erfassen des Betätigungsgrads der Lenkhandhabe; eine mechanische Wirkverbindung zwischen der Lenkhandhabe und dem mindestens einen gelenkten Fahrzeugrad; ein Stellaggregat zum unterstützen des Einstellens des Lenk- bzw. Einschlagwinkels; eine Steuervorrichtung für das Stellaggregat, wobei das vom Fahrer zur Steuerung des Kraftfahrzeuges tatsächlich aufzubringende Handmoment bzw. -kraft von der Steuervorrichtung in Abhängigkeit von Fahrzeugzustandsgrößen eingeregelt wird,; wobei die Steuervorrichtung einen Zustandsregler aufweist, der mittels Zustandsgrößen des Fahrzeuges eine Stellgröße T_{req}' für die Steuervorrichtung erzeugt, bei dem die vom Fahrer aufzubringenden Lenkkräfte minimal wären, so daß eine möglichst momentenfreie Lenkung realisiert wäre, und daß eine Referenzgrößenaufschaltung für das am Fahrer aufzubringende Handmoment $T_{driver,req}$ eine Führungsgröße T_{ref} erzeugt.



DE 101 15 018 A 1

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Fahrzeuglenkung zum Steuern eines Lenk- oder Finschlagwinkels mindestens eines Fahrzeugrads eines Fahrzeugs mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

[0002] Bei hydraulischen Hilfskraftlenksystemen steuert in der Regel ein Steuerventil einen der Drehbewegung des Lenkrads entsprechenden Öldruck in dem Lenkzylinder. Ein elastisches Drehmomentmeßglied, z. B. ein Drehstab, Spiralfeder oder Blattfeder, wandelt das am Lenkrad angreifende Drehmoment in einen Steuerweg um. Durch den Steuerweg verschieben sich die als Fasen oder Facetten ausgebildeten Steuerkanten und bilden so den entsprechenden Öffnungsquerschnitt für den Ölstrom.

[0003] Bei Hilfskraftlenksystemen, bei denen das unterstützende Moment mittels eines Elektromotors als Stellaggregat erzeugt wird, dient ebenfalls in der Regel ein Drehmomentmeßglied zur Messung des vom Fahrer aufgetragenen Handmoments.

[0004] Steigende Anforderungen im Hinblick auf den Bedienungskomfort der Hilfskraftlenkung und die Sicherheit des Kraftfahrzeugs haben zur Einführung von parametrierbaren-Hilfskraftlenkungen geführt. Diese arbeiten z. B. geschwindigkeitsabhängig, d. h. die vom elektronischen Tachometer angezeigte Fahrgeschwindigkeit steuert bzw. beeinflußt die vom Fahrer aufzubringende Betätigungskraft am Lenkrad bzw. der Lenkhandhabe. Ein Steuergerät wertet die Geschwindigkeitssignale aus und bestimmt die Größe des einzuregelnden unterstützenden Moments, welches von dem Stellaggregat zum unterstützenden Einstellen des Lenk- bzw. Einschlagwinkels erforderlich ist. So kann die spezielle Auslegung der Lenkungscharakteristik dazu führen, daß im Parkierbereich und beim Lenken im Stand nur minimale Kräfte am Lenkrad aufzubringen sind, während sich mit zunehmender Geschwindigkeit des Fahrzeugs die Größe der Hilfskraft bzw. des Hilfsmoments reduziert. Somit wird bei hohen Geschwindigkeiten exaktes und zielgenaues Lenken ermöglicht.

[0005] Nachteilig bei den bekannten Hilfskraftlenksystemen ist, daß das an der Lenkhandhabe bzw. dem Lenkrad angreifende Handmoment gemessen und lediglich mit einer Verstärkung an das Stellaggregat weitergegeben wird. Hierdurch wird meist nur ein unzureichender Bedienkomfort erzielt. Bei diesen Systemen muß in der Regel die aktive Rückstellung, d. h. die Rückstellung des losgelassenen Lenkrads in die Mittenstellung explizit mittels einer zusätzlichen Regelung implementiert werden, wodurch die gesamte Regelung/Steuerung des Systems kompliziert und stör anfällig ist. Auch das Implementieren einer aktiven Dämpfung ist bei den herkömmlichen Systemen nur mit großem Aufwand und meist nur ungenügend realisierbar. Ferner ist bei diesen Systemen nachteilig, daß eine Reibungskompensation, das heißt die Berücksichtigung der in der Lenkung vorhandenen Reibung nicht oder nur ungenügend berücksichtigt werden kann. Durch das Implementieren der Vorgenannten Optionen wird der Regler meist derart komplex, daß er – wenn überhaupt – nur unter großem Aufwand optimiert werden kann.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine leichter zu optimierende Fahrzeuglenkung zu schaffen, bei der das vom Fahrer aufzubringende Handmoment vorgebar und insbesondere exakt einregelbar ist.

[0007] Diese Aufgabe wird erfinderisch durch eine gangungsgemäße Fahrzeuglenkung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Weitere erfinderische Ausgestaltungen dieser Fahrzeuglenkung ergeben sich durch die Merkmale der Unteransprüche.

[0008] Der für die Erfindung wesentliche Gedanke ist, daß ein Zustandsregler mittels Zustandsgrößen des Fahrzeugs eine Stellgröße T_{req} für die Steuervorrichtung erzeugt, bei dem die vom Fahrer aufzubringenden Lenkkräfte minimal wären, so daß eine möglichst momentenfreie Lenkung realisiert wäre. Ausgehend von der momentenfreien Lenkung kann der Stellgröße T_{req} leicht eine Führungsgröße T_{ref} aufsummiert werden ohne daß bei der Berechnung bzw. Ermittlung des vom Fahrer aufzubringenden Handmoments $T_{driver, req}$ Rücksicht auf die sonst zu beachtenden Fahrzeugzustände genommen werden muß. Hierdurch ist es vorteilhaft möglich, das Fahrermoment aktiv vorzugeben und nicht, wie beim Stand der Technik, lediglich das gemessene Handmoment zur Berechnung der Unterstützung des Fahrers zu verstärken.

[0009] So kann z. B. vorteilhaft das vom Fahrer aufzubringende Handmoment $T_{driver, req}$ eine Funktion der nachfolgend aufgezählten Parametern sein: Lenkwinkel, Fahrgeschwindigkeit, an der Fahrzeuglenkung angreifende Störgrößen wie z. B. Spurstangenkräfte sowie Kräfte an den Reifen oder Reaktionskräfte zwischen Reifen und Fahrbahn, verschiedene Fahrdynamikinformationen von den im Fahrzeug befindlichen Fahrsystemen, insbesondere dem Getriebe und/oder der Fahrdynamikregelung.

[0010] Es ist selbstverständlich, daß die o. g. Funktion nicht sämtliche der aufgezählten Parameter berücksichtigen muß. All diese Parameter können einzeln oder in verschiedensten Kombinationen berücksichtigt werden. Ebenso ist es vorteilhaft möglich, daß der Fahrzeugführer der Lenkung vorgibt, daß er sportlich oder energiesparend fahren möchte. Durch derartige Vorgaben kann das aktiv vorgegebene gewünschte Handmoment $T_{driver, req}$ anders für die jeweilige Fahrsituation berechnet und genau vorgegeben werden.

[0011] Es ist jedoch von Vorteil, wenn zumindest einige der aufgeführten Parameter für die Funktion für das aufzubringende Handmoment Berücksichtigung finden.

[0012] Vorteilhaft verfügt die Steuervorrichtung der erfindungsgemäßen Lenkung über einen Beobachter, der mittels eines mathematischen Modells der Lenkung des Fahrzeugs nicht gemessene und/oder nicht meßbare Zustandsgrößen des Fahrzeugs berechnet. Derartige Simulationsmodelle existieren für jedes Fahrzeug, so daß vorteilhaft unnötige Sensoren zur Ermittlung von Streckenzustandsgrößen und Störzustandsgrößen eingespart werden können.

[0013] Unter Streckenzustandsgrößen werden u. a. die ritzelseitige Winkelgeschwindigkeit Ω_{pinion} , die Winkeldifferenz zwischen Lenkrad- und Ritzelseite $\Delta\phi$, die Winkelgeschwindigkeitsdifferenz zwischen Lenkrad- und Ritzelseite $\Delta\Omega$ sowie das vom Stellaggregat abgegebene Drehmoment T_{motor} verstanden. Es ist selbstverständlich, daß äquivalente Größen ebenfalls für die erfindungsgemäße Lenkung berücksichtigt werden können.

[0014] Unter Störzustandsgrößen werden u. a. das vom Fahrer aufgetragene Drehmoment T_{driver} sowie die an der Lenkung angreifenden Reibmomente $T_{friction}$ verstanden.

[0015] Zur Erzielung eines momentenfreien Lenkverhaltens benötigt der Zustandsregler zur Rückführung bzw. Aufschaltung die Strecken- und Störzustände der Strecke, d. h. der Lenkung.

[0016] Streckenzustände im Sinne der Zustandsraumtheorie sind z. B.

$$\mathbf{x}_p = \begin{bmatrix} \Omega_{pinion} \\ \Delta\phi \\ \Delta\Omega \\ T_{motor} \end{bmatrix}$$

Ω_{pinion} Ritzelseitige Winkelgeschwindigkeit,
 $\Delta\phi$ Winkeldifferenz zwischen Lenkrad- und Ritzelseite,
 $\Delta\Omega$ Winkelgeschwindigkeitsdifferenz zwischen Lenkrad- und Ritzelseite,
 T_{motor} das vom Stellaggregat abgegebene Drehmoment.
 [0017] Als Störzustände gelten z. B.

$$\underline{x}_d = \begin{bmatrix} T_{\text{driver}} \\ T_{\text{friction}} \end{bmatrix}$$

T_{driver} das vom Fahrer aufgebrauchte Drehoment,
 T_{friction} die an der Lenkung angreifenden Reibmomente.
 [0018] Durch die Rückführung der Streckenzustände über eine geeignete Matrix K_p und Aufschaltung der Störzustände (Reibungs-, oder Störgrößenkompensation) über eine geeignete Matrix K_d , welche durch einen geeigneten Zustandsreglerentwurf mit einem um ein Störmodell erweiterten Streckenmodell berechnet werden, wird dafür gesorgt, daß die gewählten Zielgrößen, z. B.

$$\underline{y}_{\text{po}} = \begin{bmatrix} T_{\text{sensor}} \\ \Delta\Omega \\ \Delta\alpha \end{bmatrix}$$

durch das vom Regler erzeugte Stellsignal T_{req} zu Null ausgeglichen werden. Diese Zielgrößen sind frei wählbar, müssen aber von den Streckenzuständen abhängig sein. In obiger Gleichung dient die Zielgröße T_{sensor} der Realisierung der momentenfreien Regelung, die Zielgrößen $\Delta\Omega$ und $\Delta\alpha$ dienen der Realisierung der aktiven Schwingungsdämpfung. Damit ist eine "momentenfreie" Lenkung realisiert.

[0019] Die Fig. 1 zeigt schematisch die Realisierung einer momentenfreien Fahrzeuglenkung durch Zustandsvektorrückführung mit Störgrößenkompensation.

[0020] Nachdem die momentenfreie Lenkung realisiert ist, kann über ein Führungsgrößenmodell ein gewünschtes Lenkgefühl erzielt werden. Unter Lenkgefühl wird hierbei das vom Fahrer gespürte bzw. aufzubringende Handmoment verstanden. Dazu wird aus dem vom Fahrer zu spürenden Handmoment $T_{\text{driver,req}}$ über eine Führungsgrößenaufschaltung mit der Matrix K_r die Größe T_{ref} erzeugt und auf die Stellgröße T_{req} aufsummiert. Die Fig. 2 zeigt die Führungsgrößenaufschaltung und die Summierung der Größen T_{reg} und T_{ref} zu T_{req} , wobei T_{req} Stellgröße für die Steuervorrichtung des Stellaggregats ist.

[0021] Die zu gewichtenden Zielgrößen werden damit zu

$$\underline{y}_w = \begin{bmatrix} T_{\text{sensor}} - T_{\text{driver,req}} \\ \Delta\Omega \\ \Delta\alpha \end{bmatrix}$$

$T_{\text{driver,req}}$ ist das Moment, welches der Fahrer spürt. Im Vergleich zum Zielgrößenvektor $\underline{y}_{\text{po}}$ wird hier kein momentenfreies Lenken (d. h. $T_{\text{sensor}} = 0$) erzeugt, sondern ein um den Betrag des gewünschten Fahrermomentes $T_{\text{driver,req}}$ verringertes Sensormoment eingeregelt. Durch das zuvor entworfene momentenfreie Lenkverhalten ist das Fahrgefühl, d. h. das Moment $T_{\text{driver,req}}$, jetzt eine völlig frei formbare (von den Streckenzuständen unabhängige) Größe und kann eine beliebige Funktion der bereits beschriebenen Parameter sein.

[0022] Da es normalerweise nicht möglich ist, alle benötigten Zustandsgrößen zu messen, müssen diese aus den vorhandenen Meßgrößen rekonstruiert werden. Dies kann z. B. durch ein differenzierendes Filter oder den bereits beschriebenen Zustandsbeobachter geschehen. Wie die Fig. 3 zeigt,

kann der Zustandsbeobachter ein um ein Störmodell erweitertes mathematisches Parallelmodell der Strecke aufweisen und erhält als Eingangsgrößen die vom Regler erzeugte Stellgröße T_{req} sowie die vorhandenen Meßgrößen, z. B. das Drehmoment T_{sensor} und den Motorwinkel ϕ_{motor} .

[0023] Durch die Rückführung der Differenzen aus den berechneten Meßgrößen und den tatsächlichen Meßgrößen über eine geeignete Matrix lassen sich die fehlenden Zustandsgrößen ermitteln. Die Berechnung dieser Matrix ist mittels eines geeigneten Beobachterentwurfs zu ermitteln.
 [0024] Durch Zusammenschalten von Beobachter und Regler erhält man eine Regelung die für Reibungskompensation, frei gestaltbares Fahrgefühl sowie aktive Schwingungsdämpfung sorgt.

[0025] Die Fig. 4 zeigt die funktionalen Blöcke des erfindungsgemäßen Regelungskonzeptes für die Fahrzeuglenkung. Der Beobachter ermittelt die für den Regler notwendigen Eingangsgrößen. Durch gleichzeitige Führungsgrößenaufschaltung von $T_{\text{driver,req}}$ wird durch die Regelung die Stellgröße T_{req} entsprechend des einzustellenden Handgefühls bzw. Handmoments eingeregelt.

[0026] Wie bereits erläutert, ist T_{req} die Stellgröße für die Steuervorrichtung des Stellaggregats. Durch die vorteilhafte Modularität der erfindungsgemäßen Fahrzeuglenkung bzw. deren Regelungskonzeptes, ist es problemlos möglich, das erfindungsgemäße Konzept in jedem Fahrzeug zu implementieren. Der Reglerentwurf gestaltet sich dabei sehr einfach, da in der Regel die mathematischen Modelle für die jeweiligen Fahrzeuge bekannt sind.

[0027] Dadurch, daß zuerst eine momentenfreie Lenkung realisiert wird, ist es problemlos möglich, eine für ein Fahrzeug erstellte Funktion für das vom Fahrer aufzubringende Fahrgefühl bzw. Handmoment für ein anderes Fahrzeug zu übernehmen. Es ist somit möglich, verschiedene Fahrzeuge mit exakt dem selben Fahrgefühl auszustatten.

[0028] Das mittels der Darstellungen aufgezeigte Regelungskonzept ist lediglich eine mögliche Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Fahrzeuglenkung. Es ist selbstverständlich möglich, daß die Summierung von T_{ref} und T_{req} an einer anderen Stelle erfolgt. So können die einzelnen Matrizen K_r , K_p und K_d selbstverständlich zu einer einzigen Matrix zusammengefaßt werden ohne vom erfinderschen Gedanken abzuweichen.

Patentansprüche

1. Fahrzeuglenkung zum Steuern eines Lenk- oder Einschlagwinkels mindestens eines Fahrzeugrads eines Fahrzeugs, das aufweist:
 eine Lenkhandhabe, insbesondere ein Lenkhandrads,
 eine Detektierungsvorrichtung zum Erfassen des Betätigungsgrads der Lenkhandhabe;
 eine mechanische Wirkverbindung zwischen der Lenkhandhabe und dem mindestens einen gelenkten Fahrzeugrad;
 ein Stellaggregat zum unterstützenden Einstellen des Lenk- bzw. Einschlagwinkels;
 eine Steuervorrichtung für das Stellaggregat, wobei das vom Fahrer zur Steuerung des Kraftfahrzeuges tatsächlich aufzubringende Handmoment bzw. -kraft von der Steuervorrichtung in Abhängigkeit von Fahrzeugzustandsgrößen eingeregelt wird;
 dadurch gekennzeichnet, daß die Steuervorrichtung einen Zustandsregler aufweist, der mittels Zustandsgrößen des Fahrzeugs eine Stellgröße T_{req} für die Steuervorrichtung erzeugt, bei dem die vom Fahrer aufzubringenden Lenkkkräfte minimal wären, so daß eine möglichst momentenfreie Lenkung

realisiert wäre, und daß eine Referenzgrößenaufschaltung für das vom Fahrer aufzubringende Handmoment $T_{\text{driver, req}}$ eine Führungsgröße T_{ref} erzeugt.

2. Fahrzeuglenkung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuervorrichtung einen Beobachter aufweist, der mittels eines mathematischen Modells der Lenkung des Fahrzeugs nicht gemessene und/oder nicht meßbare Zustandsgrößen des Fahrzeugs ermittelt.

3. Fahrzeuglenkung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß für die Berechnung von T_{req} Streckenzustandsgrößen und Störzustandsgrößen berücksichtigt werden.

4. Fahrzeuglenkung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Streckenzustandsgrößen z. B. die ritzelseitige Winkelgeschwindigkeit Ω_{pinion} und/oder die Winkeldifferenz zwischen Lenrad- und Ritzelseite $\Delta\phi$ und/oder die Winkelgeschwindigkeitsdifferenz zwischen Lenrad- und Ritzelseite $\Delta\Omega$ und/oder das vom Stellaggregat abgegebene Drehmoment T_{motor} und/oder äquivalente Größen sind.

5. Fahrzeuglenkung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß Störzustandsgrößen das vom Fahrer aufgebrauchte Drehmoment T_{driver} und/oder die an der Lenkung angreifenden Reibmomente T_{friction} sind.

6. Fahrzeuglenkung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß durch Rückführung der Streckenzustandsgrößen über eine geeignete Matrix K_p und Aufschaltung der Störzustandsgrößen über eine geeignete Matrix K_d die Stellgröße T_{req} erzeugt wird.

7. Fahrzeuglenkung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß über eine Führungsgrößenaufschaltung in einer Matrix K_r ein gewünschtes Handmoment $T_{\text{driver, req}}$ auf die Stellgröße T_{req} aufsummiert wird.

8. Fahrzeuglenkung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das gewünschte Handmoment $T_{\text{driver, req}}$ eine Funktion des Lenkradwinkels und/oder der Fahrzeuggeschwindigkeits und/oder der an der Fahrzeuglenkung angreifenden Störgrößen wie z. B. Spurstangenkräfte und/oder Kräfte an den Reifen und/oder Reaktionskräfte zwischen Reifen und Fahrbahn ist.

9. Fahrzeuglenkung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß das gewünschte Handmoment $T_{\text{driver, req}}$ durch Vorgaben des Fahrzeugführers vorgebar und/oder beeinflussbar ist.

10. Fahrzeuglenkung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vorgabe die Einstellung des Fahrmodus wie z. B. "economy" oder "sportlich" ist.

11. Fahrzeuglenkung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das gewünschte Handmoment $T_{\text{driver, req}}$ eine Funktion von verschiedenen Fahrdynamikinformationen von den im Fahrzeug befindlichen Fahrsystemen, insbesondere dem Getriebe und/oder der Fahrdynamikregelung, ist.

12. Fahrzeuglenkung nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß nicht gemessene Zustandsgrößen des Fahrzeugs durch differenzierende Filter oder den Beobachter ermittelt werden.

13. Fahrzeuglenkung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Zustandsregler über ein Gütefunktional so ausgelegt ist, daß er eine aktive Schwingungsdämpfung realisiert.

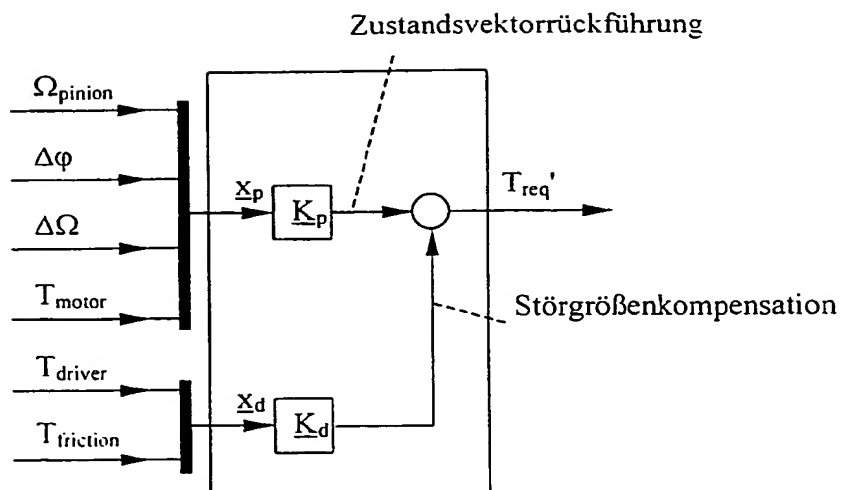


Fig. 1

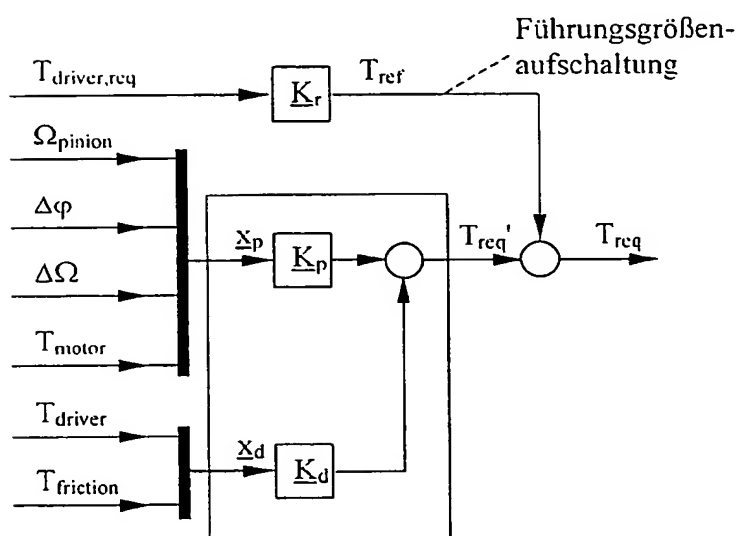


Fig. 2

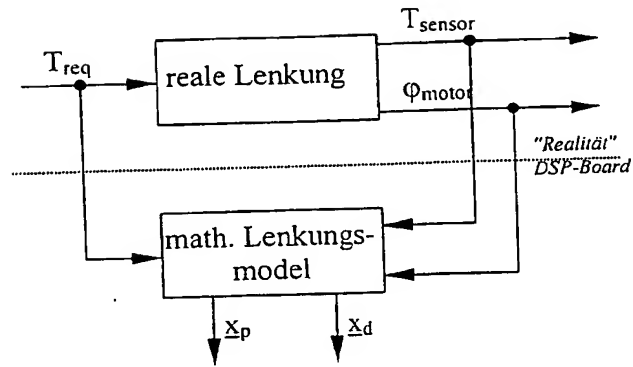


Fig. 3

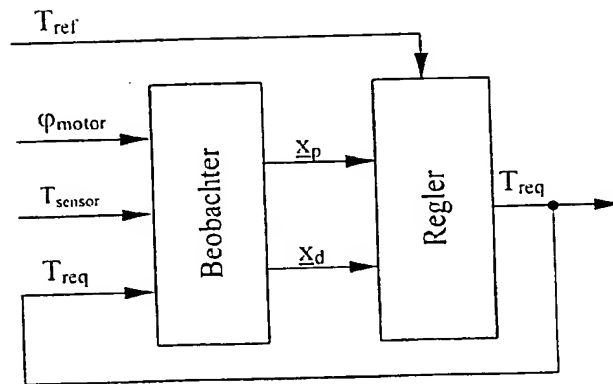


Fig. 4